

La gestion des insectes ravageurs en culture de coton en Afrique



Les insectes font de la résistance...



Thierry Brévault
UPR « Systèmes de culture annuels »

SupAgro 29/02/2012

La résistance

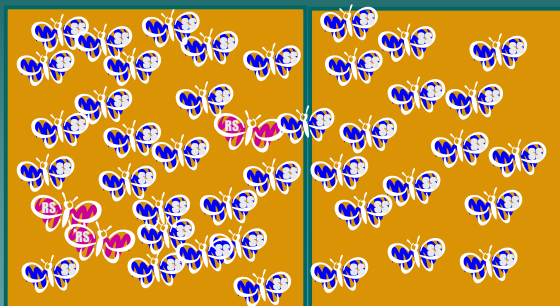
- Définitions et historique
- Surveillance et détection
- Mécanismes biochimiques
- Génétique de la résistance

- Cas du coton Bt

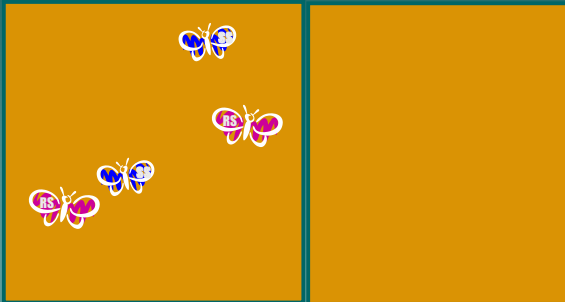
◆ Trois notions

- Perte de sensibilité
- Héritabilité
- Echec du traitement au champ
champ vs. laboratoire

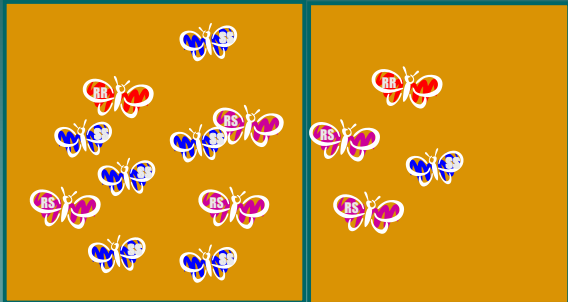
Evolution de la résistance



Evolution de la résistance



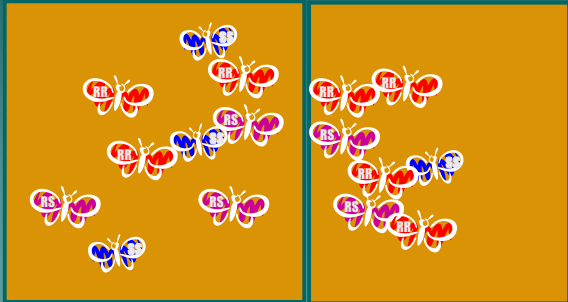
Evolution de la résistance



Evolution de la résistance



Evolution de la résistance



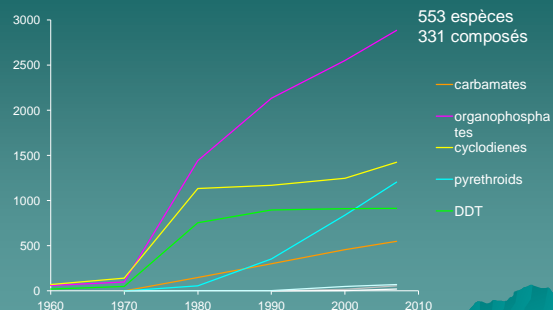
DEFINITION

Diminution d'ordre **génétique** de la sensibilité d'une population d'insectes à un insecticide par l'exposition de cette population à l'insecticide (Tabashnik, 1994)

- changement de fréquence des allèles de résistance par sélection

HISTORIQUE

Cas de résistance à différentes familles d'insecticides



<http://www.pesticideresistance.org/>

Global pesticide resistance in arthropods (Whalon et al. 2008)

Table 1.3. Top 20 resistant arthropods, ranked by number of unique compounds.

Rank	Species	Family	Order	No. of compounds with reported resistance	No. of references in the APRD	Year of first reported case	Pest of	Common name
1	<i>Tetranychus urticae</i>	Tetranychidae	Acari	80	112	1943	Cotton, flowers, fruits, vegetables	Two-spotted spider mite
2	<i>Plutella xylostella</i>	Plutellidae	Lepidoptera	76	72	1953	Crucifers	Diamondback moth
3	<i>Myzus persicae</i>	Aphididae	Hemiptera	68	78	1955	Fruit, vegetables, trees, grains, tobacco	Green peach aphid
4	<i>Lepidotarsus decemlineata</i>	Chrysomelidae	Coleoptera	48	43	1955	Aubergine, pepper, potato, tomato	Colorado potato beetle
5	<i>Musca domestica</i>	Muscidae	Diptera	44	35	1947	Urban	Housefly
6	<i>Boophilus microplus</i>	Ixodidae	Acari	43	32	1947	Cattle	Southern cattle tick
7	<i>Blattella germanica</i>	Blattellidae	Dermaptera	42	65	1956	Urban	German cockroach
8	<i>Bemisia tabaci</i>	Aleyrodidae	Homoptera	39	34	1981	Greenhouse, cotton	Whitefly
9	<i>Panonychus ulmi</i>	Tetranychidae	Acari	38	68	1951	Fruit trees	European red mite
10	<i>Aphis gossypii</i>	Aphididae	Hemiptera	37	24	1965	Cotton, vegetables	Cotton/melon aphid
11	<i>Culex pipiens pipiens</i>	Culicidae	Diptera	34	27	1961	Human	Mosquito
12	<i>Phorodon humuli</i>	Aphididae	Hemiptera	34	20	1965	Hop, plum	Hop aphid
13	<i>Helicoverpa armigera</i>	Noctuidae	Lepidoptera	33	49	1969	Cotton, maize, tomato	Corn earworm
14	<i>Heliothis virescens</i>	Noctuidae	Lepidoptera	33	41	1961	Chickpea, maize, cotton, tomato	Tobacco budworm
15	<i>Culex quinquefasciatus</i>	Culicidae	Diptera	31	42	1952	Human	Mosquito
16	<i>Spodoptera littoralis</i>	Noctuidae	Lepidoptera	30	21	1962	Lucerne, cotton, potato, vegetables	Cotton leafworm
17	<i>Tribolium castaneum</i>	Tenebrionidae	Coleoptera	30	31	1962	Stored grain, groundnuts, sorghum	Red flour beetle
18	<i>Lucilia cuprina</i>	Calliphoridae	Diptera	25	13	1958	Cattle, sheep	Sheep blowfly
19	<i>Rhizoglyphus robini</i>	Acari	Acari	22	2	1986	Ornamental plants, stored onions	Bulb mite
20	<i>Anopheles albimanus</i>	Culicidae	Diptera	21	12	1964	Human	Malaria mosquito

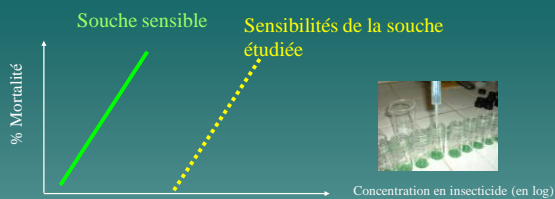
APRD, Arthropod Pest Resistance Database.

33.8% des espèces résistantes = Diptera

La résistance aux insecticides

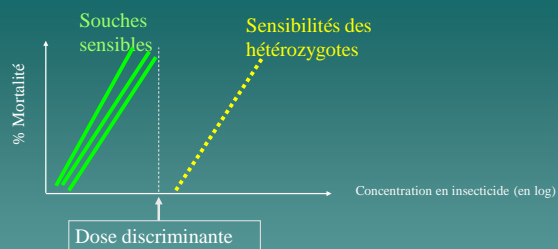
- Définitions et historique
- Surveillance et détection
- Mécanismes biochimiques
- Génétique de la résistance
- Cas du coton Bt

Mesure de la résistance



- Bioessais au laboratoire (DL50, doses discriminantes, synergistes, etc.)
- Tests biochimiques/immunologiques/moléculaires – connaissance préalable des mécanismes
- Détection moléculaire – connaissance préalable des mutations/gène de régulation associées à la résistance

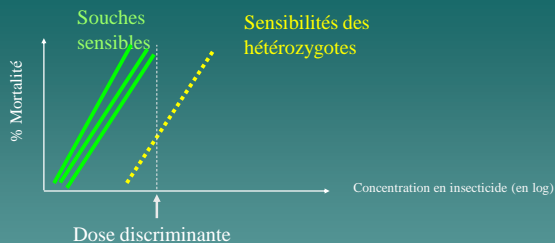
Détection de la fréquence des allèles de résistance



X individus testés.

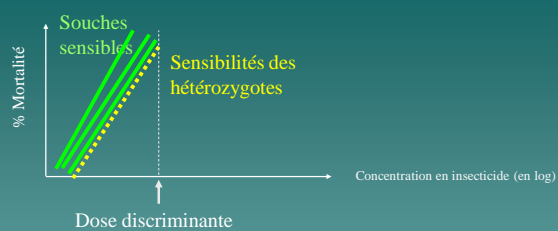
La fréquence est égale à $\frac{\text{nbre de survivant}}{2X}$

Détection de la fréquence des allèles de résistance



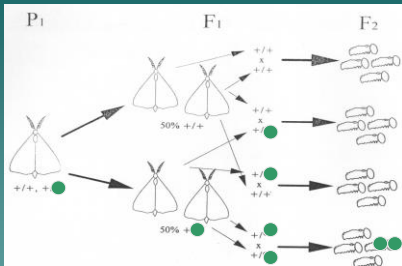
Une fraction des hétérozygotes ne peut pas survivre à la dose discriminante --- > sous-estimation de la fréquence réelle

Détection de la fréquence des allèles de résistance



Seul les homozygotes résistants peuvent être détectés. Or, si la fréquence est de 0.001, le nombre attendu de RR est de 1 sur 1 million

--- > cette méthode n'est alors plus réaliste

Méthode du F₂ screen

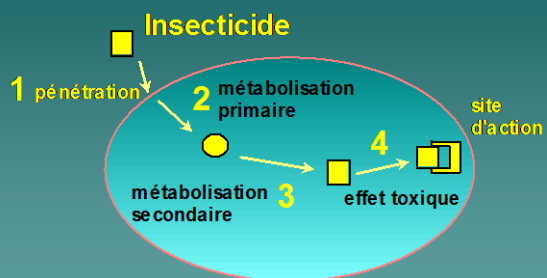
D'après Andow & Alstad 1998

Chaque lignée isofémelle permet d'évaluer 4 allèles à chaque locus

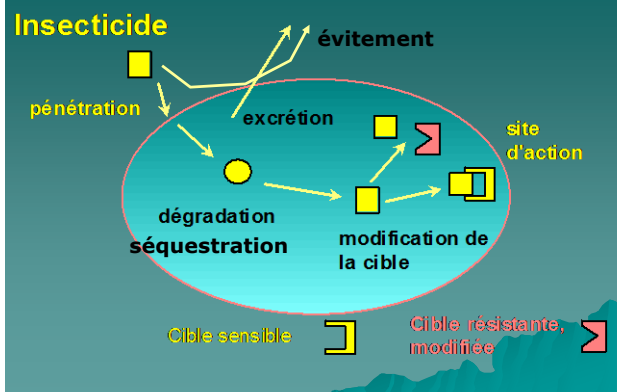
La résistance aux insecticides

- Définitions et historique
- Surveillance et détection
- Mécanismes biochimiques
- Génétique de la résistance
- Cas du coton Bt

- Le mode d'action des insecticides



- Les mécanismes de résistance :



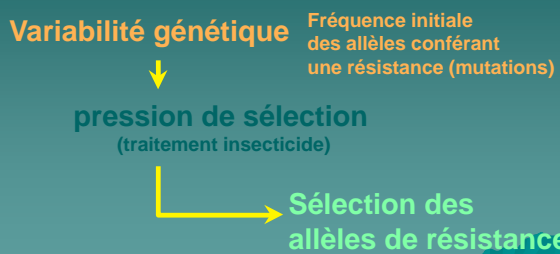
La résistance aux insecticides

- Définitions et historique
- Surveillance et détection
- Mécanismes biochimiques
- **Génétique de la résistance**
- Cas du coton Bt

Bases génétiques de la résistance

- ◆ **Caractère évolutif**
 - fréquence initiale de la résistance (mutations)
- ◆ **Caractère héréditaire**
 - Nb de gènes impliqués
 - dominance
 - coût

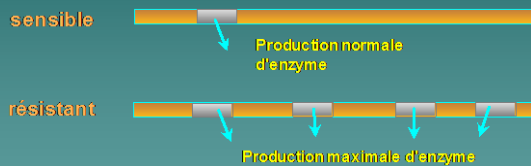
Le caractère évolutif :



Trois types de mutations génétiques

- **Modification des gènes structuraux**
 - Mutation sur le gène
 - Changement de la nature de l'enzyme ou du site d'action
 - Efficacité accrue :
 - *dégradation accrue
 - *pas de fixation sur le site d'action
- **Modification d'un gène de régulation**
 - Plus de régulation de la synthèse de l'enzyme de dégradation
 - Synthèse de l'enzyme de dégradation accrue
 - Métabolisation plus rapide de l'insecticide
- **L'amplification ou la duplication génique**
 - Augmentation du nombre de gènes codant pour la synthèse des enzymes de dégradation

L'amplification ou la duplication génique :



Le caractère héréditaire :

- Nombre de gènes impliqués
- Dominance
- Coût

Qu'est-ce que la dominance?

C'est un facteur qui décrit la contribution relative d'un allèle au phénotype d'un hétérozygote

La dominance dépend :

- 1- du trait phénotypique considéré
- 2- des autres gènes dans le génome
- 3- de l'environnement

Dans le cas de la résistance aux insecticides

Un gène de résistance avec deux allèles **S** et **R**

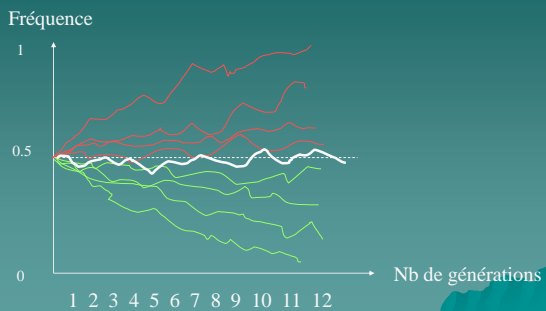


La dominance décrit le phénotype des individus **RS** comparé à celui des **SS** et des **RR**

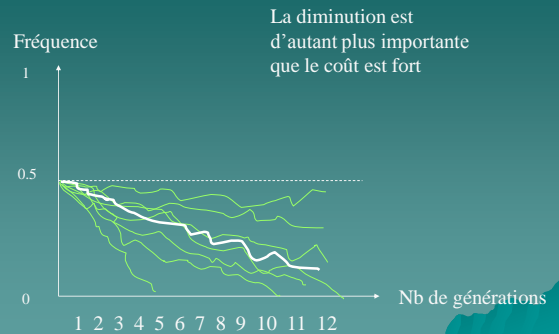
Quand le phénotype **RS** = **SS**
La résistance est récessive

Quand le phénotype **RS** = **RR**
La résistance est dominante

Absence de coût



En présence d'un coût



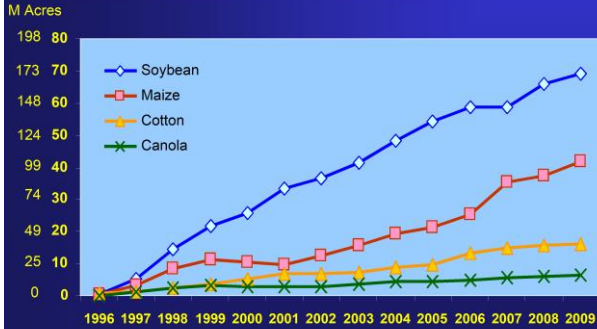
Facteurs impliqués dans la résistance



La résistance aux insecticides

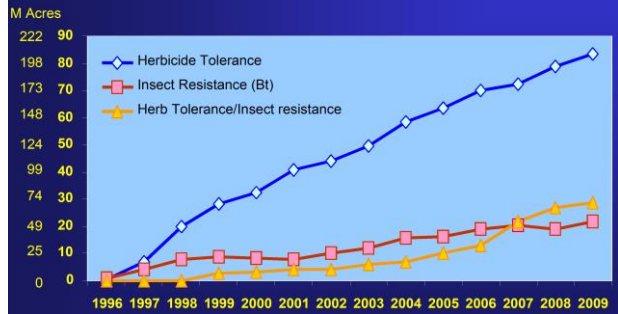
- Définitions et historique
- Surveillance et détection
- Mécanismes biochimiques
- Génétique de la résistance
- Cas du coton Bt

Global Area of Biotech Crops, 1996 to 2009: By Crop (Million Hectares, Million Acres)



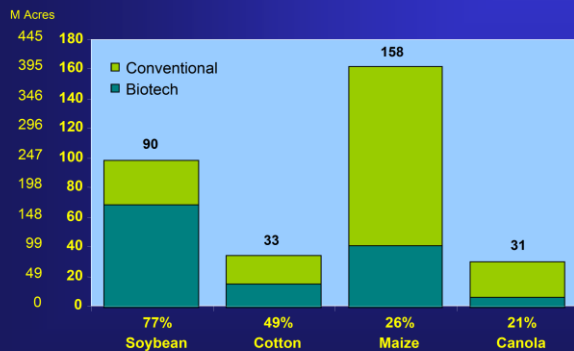
Source: Clive James, 2010

Global Area of Biotech Crops, 1996 to 2009: By Trait (Million Hectares, Million Acres)



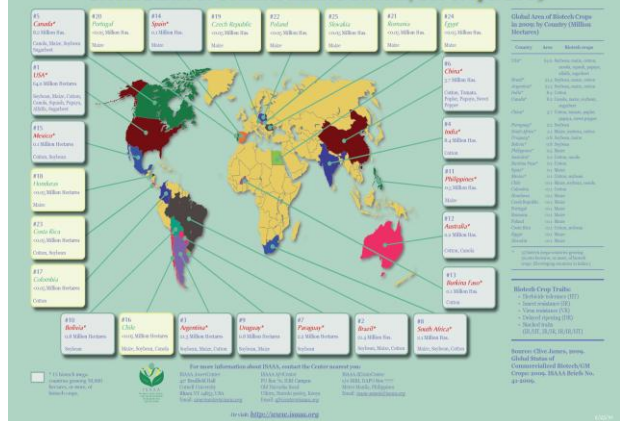
Source: Clive James, 2010

Global Adoption Rates (%) for Principal Biotech Crops (Million Hectares, Million Acres), 2009



Source: Clive James, 2010

Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2009



Cultures transgéniques insecticides

- ♦ Introgression d'un ou plusieurs gènes de la bactérie *Bacillus thuringiensis* (Bt)



- ♦ La plante élabore une (ou plusieurs) toxines spécifiques de certains lépidoptères



Cotonniers résistants aux insectes

Toxine(s)	Insectes-cibles	Nom commercial
Cry1Ac (1996)	<i>Helicoverpa</i> spp. / <i>Heliiothis virescens</i> <i>Pectinophora gossypiella</i> , <i>Alabama argillacea</i> , <i>Earias</i> spp.	Bollgard [®] , Ingard [®] (Monsanto)
Cry1Ac + Cry2Ab2 (2003)	<i>Helicoverpa</i> spp. / <i>Heliiothis virescens</i> <i>Pectinophora gossypiella</i> , <i>A. argillacea</i> + <i>Spodoptera</i> spp.	Bollgard II [®] (Monsanto)
Cry1Ac + Cry1Fa2 (2005)	<i>Helicoverpa</i> spp. / <i>Heliiothis virescens</i> <i>Pectinophora gossypiella</i> , <i>A. argillacea</i> + <i>Spodoptera</i> spp.	WideStrike [®] (DowAgrosciences)
Cry1Ab mod + Vip3A* (200..?)	<i>Helicoverpa</i> spp. / <i>Heliiothis virescens</i> <i>Pectinophora gossypiella</i> <i>Spodoptera</i> spp., <i>Agrotis ipsilon</i> , ...	VipCot [®] (Syngenta)

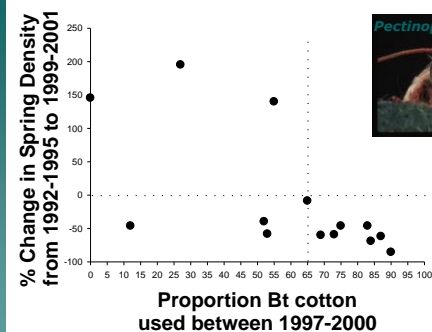
! Burkina, campagne 2008

Bénéfices attendus

- Maîtrise (voire suppression régionale*) des ravageurs cibles
- Utilisation réduite d'insecticides, diminution de la résistance
- Activité accrue des auxiliaires



Effet "puits" du coton Bt (Arizona)



Carrière et al. 2003, adapted from PNAS

Risques

- Evolution de **résistance** aux toxines chez les insectes cibles
- Impacts sur les non cibles
(ravageurs secondaires, ennemis naturels, etc.)
- Flux de gènes



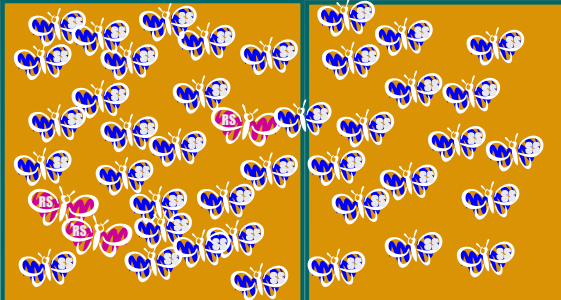
Pour le producteur:

- Le gène choisi est-il adapté aux contraintes parasitaires locales ?
- La toxine va-t-elle s'exprimer sous les contraintes abiotiques (stress) locales ?
- Des traitements chimiques seront-ils encore nécessaires ?
- Coexistence avec des cultures « bio » ?
- Quel bilan produit généré / coût de la technologie ?



Evolution de la résistance

Coton Bt



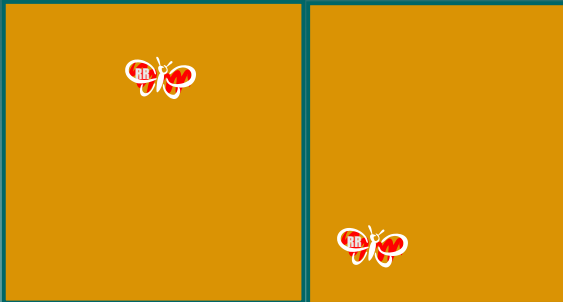
Cas d'une résistance dite "dominante"

Coton Bt



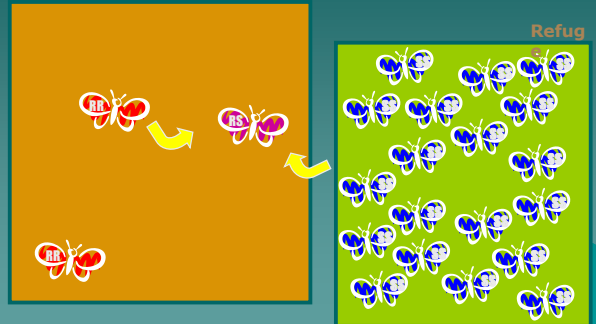
Cas d'une résistance dite "récessive"

Coton Bt

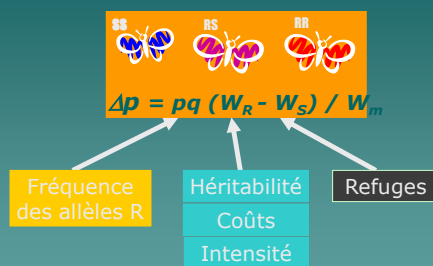


La stratégie "refuge"

Coton Bt



Modèle d'évolution de la résistance



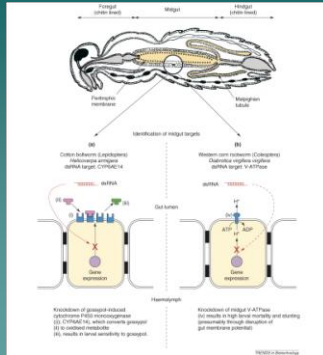
Cinq cas de résistance au champ...

- *Helicoverpa zea*, coton Cry1Ac/Cry2Ab, Etats-Unis, 2003
- *Busseola fusca*, maïs Cry1Ab, Afrique du sud, 2006
- *Spodoptera frugiperda*, maïs Cry1F, Puerto Rico, 2006
- *H. punctigera*, coton Cry1Ac/Cry2Ab, Australie, 2008
- *Pectinophora gossypiella*, coton Cry1Ac, Inde, 2009



Vers le développement de nouvelles plantes transgéniques "insect-proof"

- Nouvelles protéines insecticides (Vip3, inhibiteurs de protéases, etc.)
- Toxines Bt modifiées (Cry1Acmo, etc.)
- Gene silencing (RNAi)
- VOCs (composés organiques volatils)
- Gene stacking (empilement)



Merci pour votre attention.

